

# 実効網点面積比の 2 次式近似による Yule-Nielsen 修正 Neugebauer 式の 色予測精度の向上

犬井正男<sup>\*1</sup>, 東 吉彦<sup>\*2</sup>

Improving the color prediction accuracy of the Yule-Nielsen modified Neugebauer equation  
by introducing a quadratic approximation technique for effective halftone dot areas

Masao Inui<sup>\*1</sup>, Yoshihiko Azuma<sup>\*2</sup>

Yule-Nielsen modified Neugebauer model was popular prediction on color halftone prints. On the other hand, this current model involved prediction problem caused by dot gain. In present study, we propose a new model which contributing high prediction induced a quadratic approximation algorithm on current model. Actual dot area was bigger than nominal value on prediction of current model. Quadratic approximation express characteristics of dot gain. Parameters of proposed model were based on measurement data as ISO12642 chart with 928 color patches printed with 4 inks (cyan, magenta, yellow and black) for minimizing prediction errors. Prediction accuracy was compared between Yule-Nielsen modified Neugebauer model and proposed model on CIELAB color differences. Color patches used in evaluation were printed on four types of papers including art paper, coated paper, matt finished paper, and wood free paper. Result have shown that average color difference values between the predicted and measured values range from 1.5 to 1.9 in CIELAB color difference units, which are more accurate than Yule-Nielsen modified Neugebauer model. Proposed model of CIELAB color difference units were improved 0.8 to 1.0 on whole color gamut from current model. Results indicate that a considerable improvement in prediction accuracy of the model was achieved.

## 1. はじめに

多色網点印刷物を対象とする高精度の色予測式として、Yule-Nielsen 修正 Neugebauer 式<sup>1,2)</sup>がある。この予測式は、単色網点印刷物の非線形な階調特性を補正するための Yule-Nielsen のパラメータを、多色網点印刷物の色予測を行う Neugebauer 式に適用したもので、パラメータの値自体に物理的な根拠はないが、色の予測精度が非常に高いという特長がある<sup>2)</sup>。本研究では、実効網点面積比の 2 次式による近似を Yule-Nielsen 修正 Neugebauer 式に導入することによって、シアン、マゼンタ、イエロー、ブラックの 4 色印刷における色予測精度がさらに向上した結果を得たので報告する<sup>3)</sup>。

## 2. 方法

### 2.1 基本モデル式

Yule-Nielsen 修正 Neugebauer 式は分光形式で扱われることが多いが、本研究では扱い易さの点から三刺激値で扱うことにした。シアン、マゼンタ、イエロー、ブラック (CMYK) のインキを用いた CMYK 4 色印刷において、再現色の三刺激値 ( $X, Y, Z$ ) を  $\hat{T}$  で表すと、 $\hat{T}$  はつぎの

式で与えられる。

$$\begin{aligned} \hat{T} = & (A_P T_P^{1/n} \\ & + A_C T_C^{1/n} + A_M T_M^{1/n} + A_Y T_Y^{1/n} + A_K T_K^{1/n} \\ & + A_{CM} T_{CM}^{1/n} + A_{CY} T_{CY}^{1/n} + A_{CK} T_{CK}^{1/n} \\ & + A_{MY} T_{MY}^{1/n} + A_{MK} T_{MK}^{1/n} + A_{YK} T_{YK}^{1/n} \\ & + A_{CMY} T_{CMY}^{1/n} + A_{CMK} T_{CMK}^{1/n} \\ & + A_{CYK} T_{CYK}^{1/n} + A_{MYK} T_{MYK}^{1/n} \\ & + A_{CMYK} T_{CMYK}^{1/n})^n \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、右辺の  $T_i$  ( $i = P, C, M, Y, K, CM, CY, CK, MY, MK, YK, CMY, CMK, CYK, MYK, CMYK$ ) は 4 色の網点の重なりで生成される 16 の領域 (通称 Neugebauer 原色) の三刺激値で、 $A_i$  は各領域の面積比を表す。両変数の添字  $P$  が用紙、 $C, M, Y, K$  がシアン、マゼンタ、イエロー、ブラックの各インキ色、 $CM, CY, \dots, CMYK$  がそれらの重なりによる色の領域を示す。 $n$  はスクリーン線数や紙の種類で異なる定数で、通常、実験的に得られた値が用いられる。

また、 $A_i$  は、 $a_C, a_M, a_Y, a_K$  をそれぞれ C, M, Y, K の網点の面積比として、つぎの Demichel の関係式に基づき計算される。

\*1 東京工芸大学 名誉教授、東京工芸大学工学部メディア画像学科 非常勤講師、\*2 東京工芸大学工学部メディア画像学科 准教授  
2014 年 9 月 26 日 受理

$$\begin{aligned}
 A_p &= (1-a_c)(1-a_m)(1-a_y)(1-a_k) \\
 A_c &= a_c(1-a_m)(1-a_y)(1-a_k) \\
 A_m &= (1-a_c)a_m(1-a_y)(1-a_k) \\
 A_y &= (1-a_c)(1-a_m)a_y(1-a_k) \\
 A_k &= (1-a_c)(1-a_m)(1-a_y)a_k \\
 A_{cm} &= a_c a_m (1-a_y)(1-a_k) \\
 A_{cy} &= a_c (1-a_m) a_y (1-a_k) \\
 A_{ck} &= a_c (1-a_m) (1-a_y) a_k \\
 A_{my} &= (1-a_c) a_m a_y (1-a_k) \\
 A_{mk} &= (1-a_c) a_m (1-a_y) a_k \\
 A_{yk} &= (1-a_c) (1-a_m) a_y a_k \\
 A_{cmY} &= a_c a_m a_y (1-a_k) \\
 A_{cmK} &= a_c a_m (1-a_y) a_k \\
 A_{cYK} &= a_c (1-a_m) a_y a_k \\
 A_{mYK} &= (1-a_c) a_m a_y a_k \\
 A_{cMYK} &= a_c a_m a_y a_k
 \end{aligned} \tag{2}$$

上記の網点面積比には物理的ドットゲインを考慮した値が用いられるが、光学的ドットゲインとの分離の困難さのため、両者を含んだ値や公称値（設計値）をそのまま用いることが多い。

## 2.2 予測方法の改良

### 2.2.1 網点面積比の補正

式(2)で用いる網点面積比には、以下で説明する方法で補正した値を用いる。まず図1に、網点面積比の公称値と Murray-Davies 式で求めた実効値の関係を○の記号で示す。破線は傾き1の直線である。通常、公称値よりも実効値が大きな値を示すドットゲインの状態となるため、原点と(1,1)を通るつぎのような2次式を用いて実効網点面積比

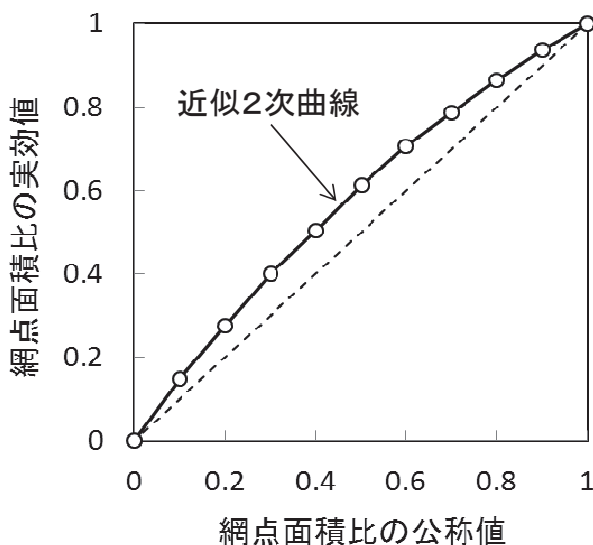


図1 実効網点面積比の曲線近似

を近似する。

$$a' = a \{1 + p(1-a)\} \tag{3}$$

ここで  $a'$  は実効網点面積比の近似値、 $a$  は網点面積比の公称値、 $p$  は2次曲線の形を制御するパラメータである。 $p$  がゼロのときは  $45^\circ$  の直線になり、値が大きくなるに従って直線から左上方にふくらんでいく。 $p$  の値は最適化の手法により求める。図では近似した2次曲線を実線で示してある。

### 2.2.2 パラメータの最適化

最適化するのは、式(1)における Yule-Nielsen のパラメータ  $n$  と式(3)のパラメータ  $p$  の2種類で、 $n$  は三刺激値  $X, Y, Z$  それぞれに対する値と、 $p$  は  $C, M, Y, K$  それぞれに対する値があり、合計で7つの最適値を求める必要がある。本研究では、対象となる色の  $L^*, a^*, b^*$  の実測値と、式(1)より得られる三刺激値  $X, Y, Z$  から計算された  $L^*, a^*, b^*$  の予測値とから次式により色差を計算し、全対象色の平均を求め、この値を最小化する条件で、これら7つの最適値を同時に求めた。最適化の処理には Excel のソルバー機能を用いた。

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_m^* - L_p^*)^2 + (a_m^* - a_p^*)^2 + (b_m^* - b_p^*)^2} \tag{4}$$

ここで、 $L_m^*, a_m^*, b_m^*$  は CIELAB の  $L^*, a^*, b^*$  の実測値であり、 $L_p^*, a_p^*, b_p^*$  は予測値である。

## 2.3 評価方法

色予測精度の評価には、枚葉印刷用ジャパンカラー2007<sup>4)</sup>に CD-ROM で提供されている ISO12642 のカラーチャート<sup>5)</sup>の測色データを用いた。このチャートを図2に示す。データは、枚葉印刷用ジャパンカラー2007 標準印刷色条件でアート紙、コート紙、マットコート紙、上質紙に印刷された試料(175線, スクエアドット)を測色して得られたもので、チャートに含まれる928色の  $X, Y, Z$  三刺激値データを使用した。本研究では、これらすべてのデータを用いてパラメータの最適化を行った。

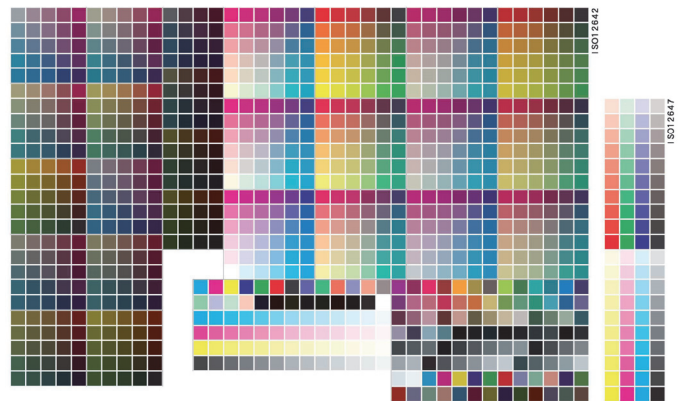


図2 ISO 12642 カラーチャート

一方、比較のため、Yule-Nielsen 修正 Neugebauer 式を用いた典型的方法による予測精度を求めた。まず、チャートに含まれる C, M, Y, K 単色ステップ（網点面積比 0~1 を 0.1 間隔でサンプルした 11 種類）の三刺激値の予測誤差を最小化するように式(1)の  $n$  値を最適化した。このとき、網点面積比は公称値そのままを用いた。そして、この最適化された  $n$  値を用いて、全 928 色に対する予測精度を求めた。

### 3. 結果と考察

図 3 に最適化によって得られた網点面積比の補正曲線を示す。公称値よりも高めの値に補正されていることがわかる。表 1 に Yule-Nielsen の  $n$  値と網点面積比補正パラメータ  $p$  の値を示す。従来方法では網点面積比が補正されないため、対応するパラメータは存在しない。これらのパラメータを用いて 928 色の色予測を行った結果を表 2 に示す。

本研究の方法は従来方法に比べて、予測誤差が CIELAB の平均色差で 0.8~1.0 程度改善されていることがわかる。ただ、どちらの方法も、最大色差がアート紙、コート紙、マットコート紙で 10 を越えている点が気になる。

表 1 Yule-Nielsen の  $n$  値と網点面積比補正パラメータ  $p$  の値

	用紙	アート紙	コート紙	マットコート紙	上質紙
	パラメータ				
本研究の方法	$n_X$	1.33	1.25	1.43	3.16
	$n_Y$	1.30	1.22	1.39	2.92
	$n_Z$	1.23	1.13	1.31	2.59
	$p_C$	0.25	0.33	0.23	0.36
	$p_M$	0.36	0.37	0.28	0.33
	$p_Y$	0.32	0.37	0.22	0.36
従来方法	$n_X$	1.66	1.84	1.79	15.5
	$n_Y$	1.69	1.86	1.83	21.5
	$n_Z$	1.65	1.74	1.73	24.9

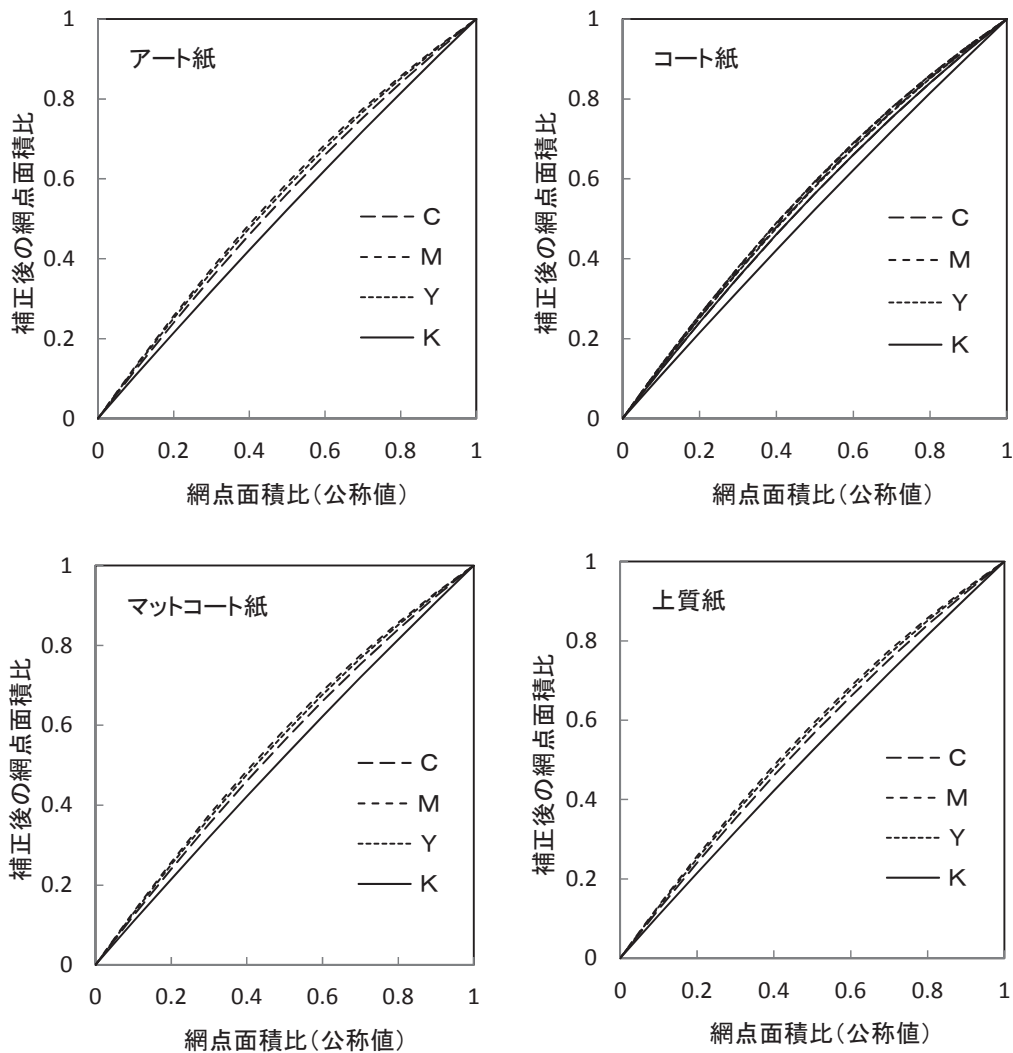


図 3 網点面積比の補正曲線

そこで、各試料における色差の分布を調べてみた。図4に本研究の方法で得られた色差の頻度分布を用紙別に示す。いずれの用紙においても、分布のピークは色差1~2にあり、色差5を越える割合は0.6%未満で、いずれもYの網点面積比が1でKが0.7~1の非常に暗い色であった。したがって、ほとんどの色は色差5以内で予測可能なことがわかった。

このように、本研究の方法は優れた予測性能をもつことを確認できたが、予測対象の色すべてを用いてパラメータを最適化したことと、色差最小を目標として最適化を行ったことが精度向上に寄与している。

ところで、表1を見てわかるように、本研究の方法は従来の方法に比べてYule-Nielsenの $n$ 値が小さくなっている。これは、図3に示したように、網点面積比を大きめに補正することで、 $n$ 値が小さくなったと推測される。網点面積比の補正は三刺激値に対する線形演算として作用するが、 $n$ 値の変化は非線形な効果をもたらすので、両者の異なる効果の組合せが予測精度を向上させた一因とも考えられる。

### 4. まとめ

Yule-Nielsen修正Neugebauer式の予測精度を向上させる方法を検討した。ISO12642の928色のカラーチャートを用いて、網点面積比の補正パラメータとYule-Nielsenのパラメータを非線形最適化の手法により同時に最適化した結果、アート紙、コート紙、マットコート紙、上質紙の4種類の印刷試料について、CIELABでの平均色差が1.5~1.9の高い予測精度を得た。この方法は、従来の方法に比べて予測精度を平均色差で0.8~1.0程度向上できることを確認した。カラーマネジメントシステムにおけるキャラクターライゼーションなどへの応用が期待できる。

表2 本研究の方法と従来方法による予測誤差(CIELAB色差)の比較

用紙	アート紙		コート紙		マットコート紙		上質紙	
	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大
本研究の方法	1.9	14.0	1.9	13.2	1.8	14.1	1.5	6.9
従来方法	2.9	14.0	2.8	14.6	2.6	14.1	2.5	8.4

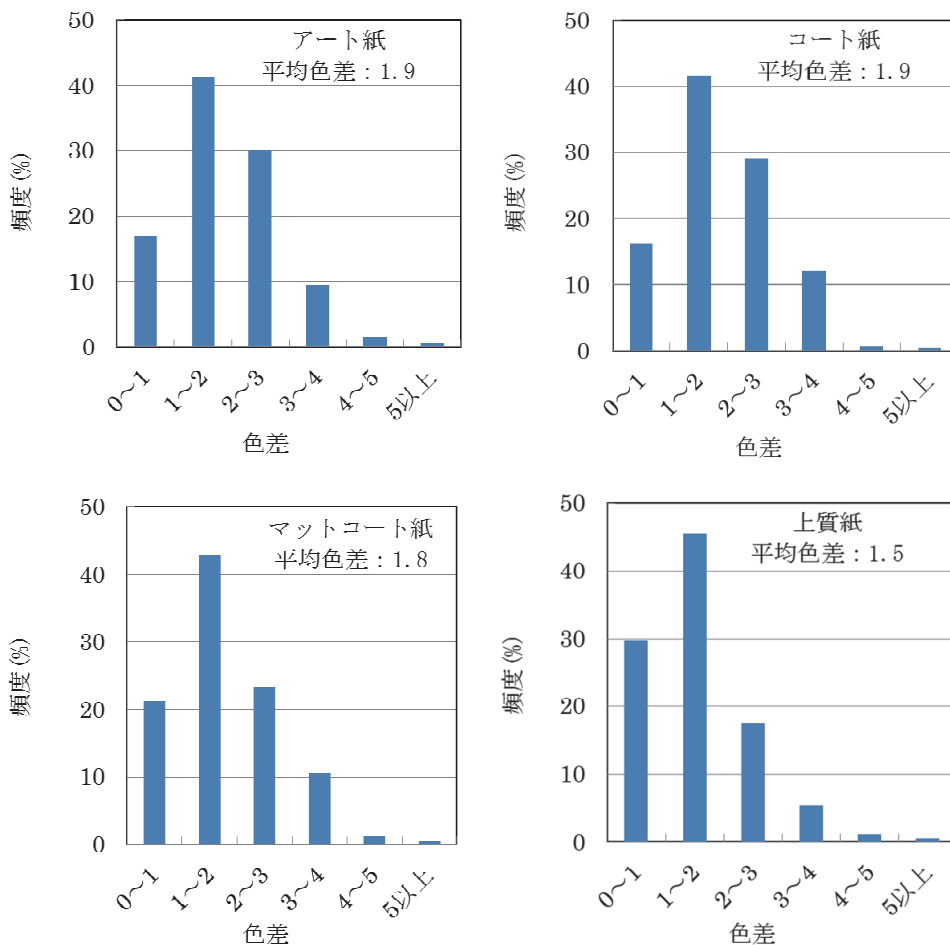


図4 各試料における色差の頻度分布

## 参考文献

- 1) J. A. S. Viggiano : "Modeling the color of multi-color halftones", TAGA Proceedings, pp.44 -62, 1990
- 2) D. R. Wyble and R. S. Berns : "A critical review of spectral models applied to binary color printing", Color Res. Appl., 25, pp.4-19, 2000.
- 3) 犬井正男, 東 吉彦, Yule-Nielsen 修正 Neugebauer 式の色予測精度の向上, 日本印刷学会第128回秋期研究発表会, pp.47-50, 2012
- 4) 社団法人日本印刷学会 標準化委員会: オフセット枚葉印刷における標準印刷色 枚葉印刷用ジャパンカラー2007 (JCS2007), 社団法人日本印刷産業機械工業会 ISO/TC130 国内委員会, 2007
- 5) ISO 12642-2:2006 Graphic technology—Input data for characterization of 4-colour process printing—Part 2: Expanded data set